



Captura do movimento dos dedos de clarinetistas: descrição dos processos metodológicos

Alexandre Pereira da Silva¹

UFMG/PPGM/DOCTORADO

SIMPOM: *Teoria e prática da Execução musical*
challumeau@yahoo.com.br

Resumo: Os movimentos dos dedos dos clarinetistas associados à pressão de ar constante é o que cria o efeito de transição entre notas chamado *legato*. Estes movimentos foram estudados utilizando-se sistemas de captura de movimento no intuito de verificar a influência (de tais movimentos) na qualidade do *legato*; os procedimentos metodológicos gerados a partir destes experimentos são descritos neste trabalho como forma de elaborar um *framework* dedicado à análise e captura de dados motores durante a performance musical de clarinetistas.

Palavras-chave: Captura de movimento; Legato finger; Performance de Clarinete

Motion Capture of the Fingers of the Clarinetists: Description of the Methodological Processes

Abstract: Finger movements of clarinetists associated with constant air pressure is what creates the effect of transition between notes called *legato*. These movements were studied using motion capture systems in order to check their influence of such movements in the quality of the *legato*; methodological procedures generated from these experiments are described in this paper as a way to draw up a framework dedicated to the analysis and data capture engines during the musical performance of clarinetists.

Keywords: Motion Capture; Legato finger; Clarinet Performance

1. Introdução

O processo de reprodução de diferentes articulações no clarinete está diretamente ligado à forma como o executante inicia o processo de vibração da palheta, seja apenas com o ar (condição em que o movimento inicia-se do repouso, com a palheta estática) ou golpeando a palheta com a língua, onde esta dá início à vibração a partir de uma posição de tensão (Hofmann *et al.*, 2012). As variações de pressão e velocidade impressas contra a palheta pela

¹ Doutorando em Performance Musical, UFMG-PPGMUS. Orientador: Dr. Maurício Loureiro.

língua ou pelo ar, bem como as diferentes regiões de ambas (língua e palheta) que entram em contato entre si, fazem com que variadas articulações sejam criadas pelos clarinetistas.

Comparativamente, a realização do *legato* envolve o uso do ar sem interrupção de forma que não haja pausas entre as notas e que a transição entre estas aconteça pela ação dos movimentos do(s) dedo(s) do clarinetista (Hoffman & Goebel, 2014). No entanto, uma vez que esses movimentos sejam realizados com força em demasia, cuja ação, diferentemente do piano, é desnecessária à manipulação da dinâmica (Palmer, 2007), pode ocorrer o efeito chamado de “*pop sound*”² fazendo com que a pressão de ar constante não seja suficiente para garantir a qualidade do *legato* aumentando drasticamente a quantidade de transientes. Como alternativa pedagógica, muitos professores sugerem o uso da técnica conhecida como “*legato finger*” ou “*slow finger technique*” (Osborn, 2105) a qual consiste em um movimento de dedo mais suavizado através de um gesto em círculo (Anderson, 2015). Quando utilizada de forma extremamente lenta esta técnica cria uma espécie de *glissando* ou portamento indesejado mas, se realizada de forma correta, libera controladamente a saída de ar do interior do tubo, sendo, por este motivo, uma técnica muito utilizada em excertos lentos³.

Este trabalho visa reportar os procedimentos metodológicos envolvidos na análise das características cinemáticas dos movimentos dos dedos de clarinetistas e sua influência na qualidade do *legato*, os quais constituem uma das partes da tese de doutorado em andamento momentaneamente intitulada “Análise da performance musical de clarinetistas através de descritores acústicos e do comportamento motor”.

2. Métodos

Um clarinetista executou a escala de Dó maior, escolhida por ser uma escala cujo movimento dos dedos consiste em levantar e abaixar um dedo de cada vez e sem o uso de chaves laterais ou posições de “forquilha” em seus respectivos clarinetes em Lá e Si bemol. Esta escala foi realizada em uma oitava (Si bemol 3 a Si bemol 4 do piano). Foi orientado a executar esta escala ascendentemente e descendentemente usando o *legato* “tradicional” e o *legato finger*. Cada execução foi realizada em andamento lento, porém, sem o uso do metrônomo.

² Quando o clarinetista imprime com os dedos força em demasia contra o corpo do instrumento, ao retirá-los pode ser percebido um som fruto da sucção onde os dedos agem como ventosas, numa ação semelhante ao desentupidor de pia. Este som é conhecido como “*pop sound*”, assim como o som provocado pelos dedos ao tocar os anéis e as chaves ao serem pressionados com demasiada força (Morales).

³ Apesar de ainda não confirmada, há indícios para acreditar na ideia de que esta técnica seja usada eficazmente apenas em excertos lentos. Segundo Goebel e Palmer (2009): “[...] movement strategies change considerably across different tempi - for example, as human gait changes from walking to running- and movements that are learned while practicing slowly are not useful at fast tempi”.

2.1 Aquisição dos dados

2.1.1 Captura e processamento do movimento dos dedos

O Optotrak Certus, desenvolvido pela empresa canadense NDI, *Northern Digital Incorporated*, é um sistema ótico do tipo *outside-in* (sistema no qual a fonte emissora de sinais – neste caso, infravermelha (IRED) – é fixada diretamente no corpo rastreado, e os sensores que captam os sinais emitidos pela fonte emissora são dispostos externamente) usado para a captura de movimento (Silva, 1997). Dentre as principais vantagens no uso desse sistema destaca-se a utilização de marcadores extremamente leves e que não causam desconforto no momento da execução musical, porém podem ser facilmente obstruídos.

Os dados de movimento foram coletados a uma taxa de amostragem de 100 Hz (uma amostra para cada 10 ms). Foram colocados sensores sobre as unhas de oito dedos (excluíram-se os polegares⁴) do clarinetista os quais foram enumerados ascendentemente na direção campana-barrilhete. Além destes, outros seis marcadores foram distribuídos da seguinte forma: marcadores 9 a 11 na campana, 12 no barrilhete, 13 e 14 em uma claquete, estes últimos, necessários para o processo de sincronia entre o áudio e o movimento.

O participante tocou sentado, posicionado de frente para o sensor do Optotrak a uma distância de 2,5 metros. Tomou-se cuidado para não impedir a movimentação corporal do participante durante as gravações. Acreditamos que estes movimentos fazem parte da performance e que sua supressão poderia ocasionar desconforto ao participante e/ou alterações no resultado musical produzido durante as performances.



Fig. 1: Demonstração dos marcadores da mão direita; o dedo mínimo é o dedo 01, anular 02, médio 03, indicador 04, mínimo da mão esquerda 05, anular 06, médio 07 e indicador 08.

⁴ Embora os dedos mínimos acionem chaves e não anéis eles também foram incluídos na análise, como uma fonte de informação complementar a respeito do *legato*.

No entanto esta liberdade adiciona um maior grau de complexidade ao procedimento, visto que para focarmos a análise apenas nos movimentos dos dedos é preciso isolá-los dos movimentos corporais realizados pelos participantes (outros músicos participaram do experimento, no entanto, analisamos os dados de apenas um dos clarinetistas como forma de averiguação das hipóteses e metodologias implantadas). Os marcadores fixados no instrumento permitiram a definição de um plano de referência posteriormente utilizado para calcular a movimentação dos dedos em relação ao corpo do instrumento, eliminando assim a influência da movimentação corporal do músico.

Os dados de movimento foram suavizados utilizando-se um filtro Butterworth passa-baixa, com ordem 6 e frequência de corte em 5Hz, de forma a eliminar ruídos indesejáveis para a análise. Eventuais perdas de marcadores foram detectadas, porém estas aconteceram em posições menos relevantes para a análise, isto é, após os dedos terem se afastado do instrumento (extensão completa dos dedos). Todas as perdas apresentaram durações inferiores a 10ms e foram corrigidas por meio de interpolação por splines cúbicos, garantindo assim a continuidade das trajetórias.

2.1.2 Captura e processamento do áudio

A gravação de áudio foi realizada utilizando um microfone condensador M-Audio Solaris conectado a uma interface M-Audio Firewire 1814. A taxa de amostragem utilizada foi de 44100 Hz. Durante a execução do excerto musical (escala) no experimento não foi utilizado metrônomo. O passo seguinte foi a realização da segmentação das notas usando o *plugin* Expan para o software Sonic Visualiser⁵ desenvolvido pelo grupo de pesquisa CEGeM⁶. O *plugin* Expan utiliza uma combinação de parâmetros espectrais e temporais extraídos do sinal de áudio para detectar possíveis inícios e finais de notas, os quais posteriormente podem ser ajustados utilizando os recursos de edição disponíveis no Sonic Visualiser.

2.1.3 Sincronização entre o áudio e o movimento

Após a segmentação o próximo passo foi a sincronização entre os dados de movimento e o sinal de áudio. Optamos por um procedimento simples e robusto; fizemos uso de uma claquete com marcadores em cada uma das duas partes móveis para produzir um evento de sincronização comum para os sistemas de áudio e de captura de movimento. O instante de máxima aceleração entre os marcadores da claquete e o primeiro pico de energia

⁵ <http://www.sonicvisualiser.org/>

⁶ Centro de Estudos do Gesto Musical e Expressão: Laboratório sediado na escola de música da UFMG voltado à análise empírica da performance musical e da musicologia empírica.

do sinal de áudio são utilizados como referência para a sincronização. Ambos os sinais foram cortados no evento de sincronização. Este procedimento e as análises posteriores foram realizados utilizando o software Matlab⁷.

3. Análise

3.1 Dados acústicos

Após a segmentação dos sinais de áudio seguimos com a extração de características acústicas que são posteriormente utilizadas para comparar as execuções realizadas com cada técnica de movimento dos dedos, e consequentemente a qualidade do *legato* produzido pelos clarinetistas. Chamamos características acústicas as propriedades de um som que podem ser registradas e analisadas, como a sua frequência fundamental e sua evolução de energia. Ainda não existe consenso na comunidade científica sobre um mapeamento destas características acústicas e as informações musicais que elas possam representar, apesar de diversas iniciativas com maior ou menor sucesso serem amplamente conhecidas. De uma forma geral, mesmo descritores customizados para uma determinada tarefa podem ter sua performance afetada por fatores diversos, como posicionamento do microfone, acústica da sala ou mesmo o registro utilizado no instrumento.

Como este é um estudo preliminar, optamos por extrair diversas características acústicas de forma a explorar quais poderiam melhor diferenciar as técnicas utilizadas: 1) Características temporais: *Inter-onset-interval* (intervalo entre onsets - IOI), IOI normalizado, Duração relativa das notas, duração da sustentação da nota; 2) Características de articulação: índice de articulação⁸, inclinação do ataque; 3) Características de distribuição de energia: média, variação (desvio padrão), valores máximos e mínimos do RMS⁹ do sinal de áudio de cada nota; 4) Características de Afinação: média, variação, valores máximos e mínimos do *pitch* (altura) de cada nota; 5) Características timbrísticas: duração do ataque; média, variação, valores máximos e mínimos das características harmônicas: inarmonicidade, irregularidade espectral, decaimento espectral, centroide espectral e achatamento espectral calculados para cada nota.

⁷ <http://mathworks.com/products/matlab/>

⁸ O índice de articulação mostra a relação entre o duração real da nota e seu IOI, isto é, a duração do silêncio entre uma nota e a próxima.

⁹ *Root Mean Square* - Raiz do valor quadrático médio.

3.2 Dados do movimento

Os *onsets* extraídos do sinal de áudio foram utilizados para segmentar as trajetórias dos dedos e permitir uma análise inicial das técnicas empregadas no experimento. A Figura 2 mostra a trajetória do dedo 8 durante a transição entre as notas Si 4 - Dó 5¹⁰ e Dó 5 - Si 4. Durante a transição entre a posição **1** (nota Si 4) e a posição **2** (nota Dó 5) ocorre o movimento de abertura do orifício, que vai ser novamente fechado na posição **3** (nota Si 4). É possível verificar a evolução do movimento em cada técnica, enquanto na técnica **A** a movimentação do dedo é mais linear, na técnica **B** o movimento é mais curvilíneo fazendo com que a sua duração seja maior.

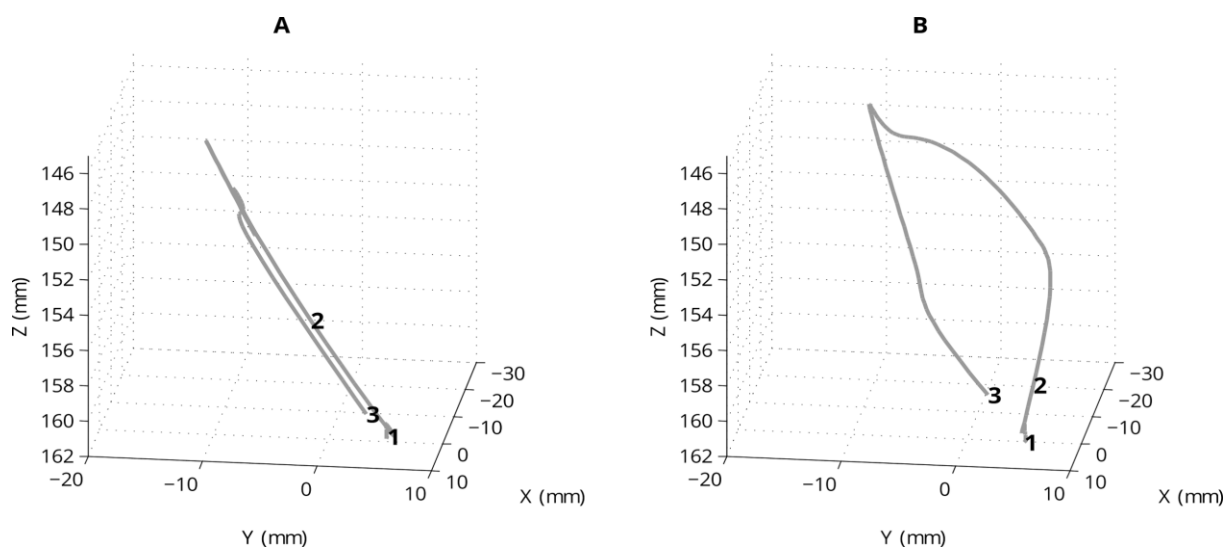


Fig. 2: Exemplo de trajetória dos dedos durante duas transições entre notas executadas utilizando as duas técnicas diferentes. O painel A mostra o resultado da técnica tradicional, o painel B mostra o resultado da técnica “legato finger”. Os números indicam a posição dos onsets: 1 para a nota 7 (Si 4), 2 para a nota 8 (Dó 5) e 3 para nota 9 (Si 4).

A trajetória dos movimentos, por si, contém inúmeras informações para caracterizar um movimento realizado durante a transição de uma nota, porém devido ao alto número de dimensões sua aplicação em grande volume de dados torna a análise extremamente mais complexa. De forma a explorar a relação entre os resultados acústicos e o tipo de técnica aplicada optamos por parametrizar os movimentos utilizando características cinemáticas simples extraídas da trajetória tridimensional, como a velocidade tangencial (ou rapidez) e a aceleração instantânea, assim como a amplitude e duração dos movimentos realizados.

Estes parâmetros cinemáticos são representados como valores escalares calculados como média e máximo da região compreendida entre os mínimos de rapidez adjacentes à posição do *onset*. Cada segmento resultante corresponde ao movimento de

¹⁰ Notas escritas para o clarinete em Si bemol.

abertura ou fechamento do orifício, necessário para a execução da nota seguinte. Portanto, as referências à transição entre as notas Si 4 e Dó 5 representam o movimento de abertura do orifício realizado entre as notas Si 4 e Dó 5 de forma a fazer soar a nota Dó 5. A amplitude do movimento foi calculada como a soma total do deslocamento do dedo em cada segmento e a duração do movimento representa o tempo gasto durante o deslocamento.

4. Resultados

Primeiramente reportamos as diferenças cinemáticas encontradas entre as duas técnicas de execução do legato, partindo posteriormente para as diferenças acústicas e finalmente a relação entre os dois.

4.1 Diferenças cinemáticas

Os resultados sugerem que as diferenças entre as duas técnicas podem ser representadas de forma eficaz pelas médias e máximos da rapidez e da aceleração, ambas apresentaram valores acima de zero na diferença entre suas médias. Tanto a rapidez quanto a aceleração apresentaram valores médios e máximos superiores para a condição A. Duração e Amplitude não apresentaram diferenças importantes entre as condições.

Condição	A		B		Diferença entre médias	I.C. 95% Diferença entre médias	
	Média	D.P.	Média	D.P.			
Duração (ms)	0,283	0,085	0,325	0,149	0,042	-0,142	0,057
Amplitude (mm)	26,745	15,496	19,459	7,071	7,286	-2,690	17,262
Rapidez Média (mm/s)	90,737	28,814	62,718	16,636	28,020	8,719	47,320
Rapidez Máxima (mm/s)	190,724	69,078	138,843	29,697	51,882	7,736	96,027
Aceleração Média (mm/s ²)	13,125	4,019	8,745	2,733	4,380	1,578	7,182
Aceleração Máxima (mm/s ²)	24,121	7,682	17,493	3,054	6,627	1,759	11,496

Tabela 1: Média, desvio-padrão, diferença entre médias e intervalo de confiança dos parâmetros cinemáticos extraídos da movimentação dos dedos durante a transição entre notas executadas nas condições A e B.

4.2 Diferenças acústicas

A diferença entre as condições **A** e **B** foram mais evidenciadas pelo índice de articulação ($M = 0,0019$; $I.C. 95\% = 0,0013$ e $0,0026$), sendo a condição **B** menos articulada que **A**. Ambas as condições apresentaram valores extremamente baixos, resultado este que já era esperado visto que as duas foram executadas em *legato*. Os outros descritores não apresentaram diferenças importantes entre as condições, portanto não puderam ser devidamente avaliados.

4.3 Relação entre as características acústicas e cinemáticas

A Figura 3 mostra a mesma nota executada utilizando as duas técnicas. É possível verificar algumas particularidades de cada técnica na evolução da rapidez, assim como no seu valor máximo. A evolução da energia RMS também apresenta diferença entre as condições, no que diz respeito ao equilíbrio entre a nota anterior e posterior a transição, no entanto este efeito é dependente de outros fatores, como o controle do fluxo de ar produzido pelo clarinetista, não sendo possível atribuir esta variação somente à diferença entre as técnicas.

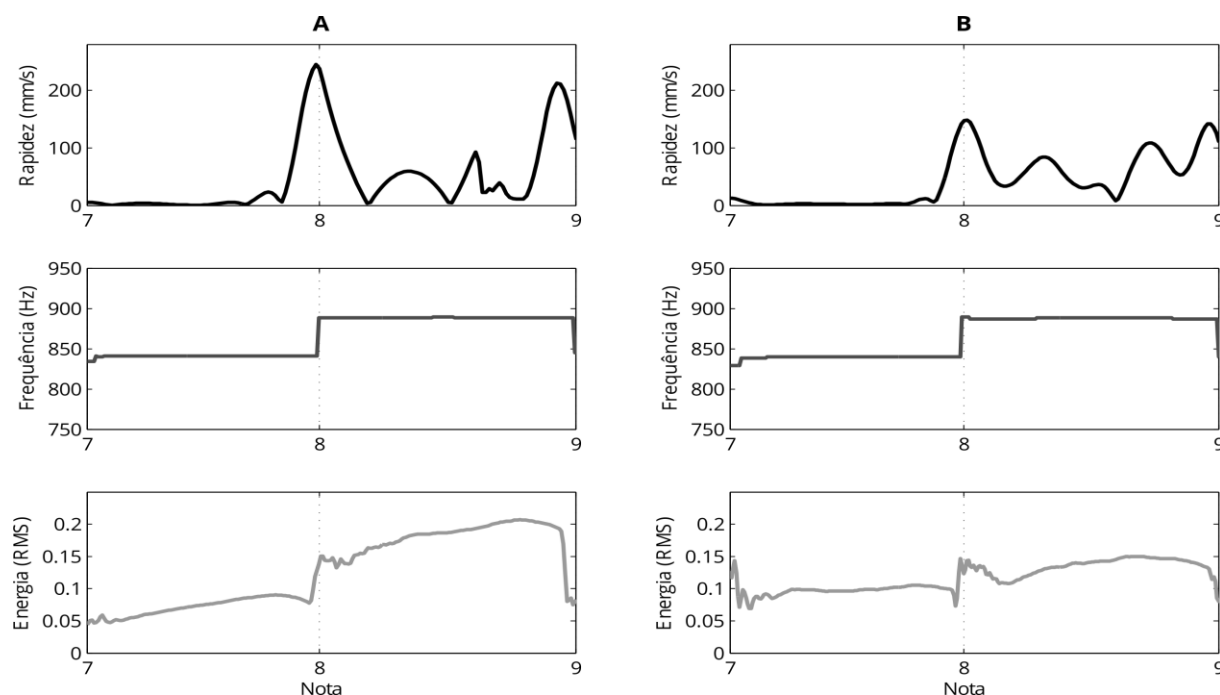


Fig 3: Transição entre a nota Si 4 (7) para a nota Dó 5 (8). O painel da esquerda mostra a condição A (legato normal) e o painel da direita a condição B (legato finger). São representados a rapidez, a frequência e o RMS das notas executadas.

Conclusões

A utilização da metodologia de captura de movimento dos dedos dos clarinetistas descrita neste trabalho mostrou-se eficaz na medida em que aponta para uma extrema acurácia na precisão das capturas; no entanto, uma característica notável foi que em todos os casos houve perda de captura do marcador 5, dedo mínimo da mão esquerda que, apesar de acionar chaves, tem movimento e amplitude gestual particulares que causam sua saída do campo de ação dos sensores, resultado que por si só revela-se de grande importância no que diz respeito ao ensino e à pedagogia do instrumento.

Este estudo, ainda em andamento, mostra-se de grande relevância na medida em que a temática, da forma como foi abordada, é pouco estudada e carece de literatura específica. De acordo com Hoffmann *et al.* (2013) a precisão rítmica durante a performance de saxofonistas foi influenciada também pela posição dos dedos e das mãos e este estudo pode futuramente, com a metodologia aplicada e o uso de sistemas de captura de movimento, investigar tais parâmetros na performance dos clarinetistas.

O uso dos marcadores nas unhas permite que o método possa ser aplicado também no estudo dos movimentos das mãos de saxofonistas, flautistas e oboístas, por exemplo. Estudos futuros estão sendo preparados com o intuito de gerar resultados a partir da hipótese de que o uso do *legato finger* possa de fato amenizar a presença de transientes durante as transições entre notas e produzir um legato mais suavizado, o que inevitavelmente envolverá o uso de testes auditivos subjetivos com público variado como clarinetistas profissionais, estudantes e amadores, bem como outros músicos profissionais, estudantes e amadores e não músicos.

Referências

- ANDERSON, Michelle. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=2sAK1xwg3XI. Acesso em: 17 jul 2015. Dur: 07:12. (Video-aula sobre *legato finger*).
- HOFMANN, Alex & GOEBL, Werner: Production and perception of legato, portato and staccato articulation in saxophone playing. *Frontiers in psychology*, 2014.
- HOFMANN, Alex *et al.*: Zooming into saxophone performance: tongue and finger coordination. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PERFORMANCE SCIENCE, Viena, 2013.
- HOFMANN, Alex *et al.*: The influence of tonguing on tone production with single-reed woodwind instruments. 5TH CONGRESS OF ALPS-ADRIA ACOUSTICS ASSOCIATION, Croácia, 2012.

GOEBL, Werner & PALMER, Caroline: Finger motion in piano performance: Touch and tempo. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PERFORMANCE SCIENCE, Londres, 2009.

MORALES, Ricardo. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=axTjcZTgy6w. Acesso em: 23 set 2015. Dur: 08:05. (Vídeo-aula sobre *legato finger* e formas de mover os dedos ao tocar clarinete).

OSBORN, Sean. Disponível em: osbornmusic.com/legato.html. Acesso em 07 nov 2015.

PALMER, Caroline *et al.*: Movement, planning and music: Motion coordinates of skilled performance. INTERNATIONAL CONFERENCE ON MUSIC COMMUNICATION SCIENCE, Sidney, 2007.

SILVA, Fernando Wagner da: Motion Capture: *Introdução à tecnologia*. Rio de Janeiro, 1997.